

Rancang Bangun Pengkondisi Sinyal Kondisioning Instrumen Biosensor Berbasis Mikrokontroler

Aminuddin Debataraja
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Jakarta
Depok, Indonesia

Kampus Baru Universitas Indonesia Depok, 16425
Email: adebataraja@yahoo.com

Abdul Aziz
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Jakarta
Depok, Indonesia

Kampus Baru Universitas Indonesia Depok, 16425
Email: aaziz@elektro.pnj.ac.id

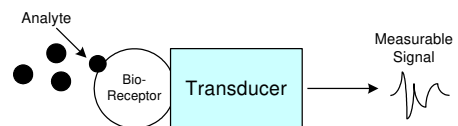
Abstrak—Sistem sensor yang dikembangkan dalam penelitian ini bersifat pintar (intelligent) yaitu memiliki kemampuan untuk mendeteksi keadaan sensor, serta dapat melakukan kalibrasi sendiri (self calibration). Produk yang dihasilkan diaplikasikan pada bidang monitoring kesehatan. Pengukuran kinerja rangkaian akuisisi data dilakukan secara bertahap diawali dari bagian signal conditioning yang terdiri atas peubah arus ke tegangan dan penguat tegangan hingga konversi tegangan ke dalam format digital pada bagian ADC. Pada tahap pertama dari bagian signal conditioning, rangkaian peubah arus ke tegangan diberi masukan sinyal berupa arus sebesar 0 – 100 μ A secara bertahap kemudian diamati besaran luaran tegangannya. Untuk kenaikan arus sebesar 10 μ A maka respon tegangan yang dihasilkan mendekati linier dengan error maksimum hingga $\pm 0,1$ V. Selanjutnya pada tahap kedua dari bagian signal conditioning, tegangan hasil konversi dikuatkan dua kali untuk menghasilkan nilai tegangan yang bervariasi antara 0 – 2 V. Untuk setiap masukan arus pada peubah arus dan tegangan maka luaran tegangan setelah dikuatkan, dapat dilihat bahwa linieritas rangkaian penguat cukup baik sehingga total error yang dihasilkan bagian signal conditioning tetap bernilai $\pm 0,1$ V. Luaran sinyal tegangan dari bagian signal conditioning selanjutnya menjadi masukan bagi bagian peubah sinyal analog ke sinyal digital (ADC). Untuk setiap nilai tegangan antara 0 – 2 V akan diubah kedalam format digital 10 bit. Hasil pengamatan memperlihatkan untuk setiap arus masukan signal conditioning yang telah diubah dalam bentuk tegangan.

Kata kunci—Sensor, signal conditioning, ADC, digital.

I. PENDAHULUAN

Penelitian sensor sampai saat ini masih merupakan suatu topik yang sangat luas dan melibatkan berbagai disiplin ilmu, dimana perkembangan teknologi sensor mengikuti kemajuan teknologi mikroelektronika. Sedangkan untuk aplikasi dari teknologi sensor dapat ditemui dalam banyak peralatan konsumen, otomotif, laboratorium, pengelolaan lingkungan, konservasi energi, pabrikasi, industri, kedokteran, pertambangan, pertanian, dan sebagainya. Aplikasi sistem sensor ini masih dan akan terus berkembang sesuai dengan kebutuhan. Namun, sensor-sensor yang ada saat ini dipasaran hampir semuanya berupa produksi impor. Bio-sensor pertama kali diperkenalkan dan dikomersialisasikan pada tahun 1970 oleh Yellow Springs Instrument Co. Dimana produk yang

dihasilkan untuk mengukur kadar glukosa (glukosa) dalam darah, kadar urin dan *bioprocessing*. Biosensor saat ini banyak digunakan untuk berbagai divais termasuk memonitor segala sesuatu yang berhubungan dengan *bio-element*. Menurut IUPAC, bio-sensor dapat didefinisikan sebagai divais analisa yang kompak dimana terdapat *biological sensing element* yang terintegrasi dengan transduser *physicochemical* [1]. Teknis analisa dengan biosensor adalah mengintegrasikan komponen biologi aktif dengan "transducer" untuk menghasilkan sinyal elektronik yang dapat diukur. Biosensor merupakan sensor kimiawi dimana terdiri dari 3 (tiga) elemen dasar yaitu: reseptor (*biocomponent*), transduser (*physical component*) dan separator (*membrane* atau beberapa jenis *coating*) [2,3]. Reseptor terdiri dari *doped metal oxide* atau *organic polymer* yang dapat berinteraksi dengan "analyte". *Biocomponent* ini dapat berupa enzim, antigen, antibodi, bakteri and *nucleic acids*. Untuk berbagai aplikasi dari biosensor, enzim merupakan senyawa yang paling banyak digunakan sebagai *bioreceptor molecules* atau *biocomponent*. Gambar berikut menjelaskan prinsip biosensor itu sendiri.

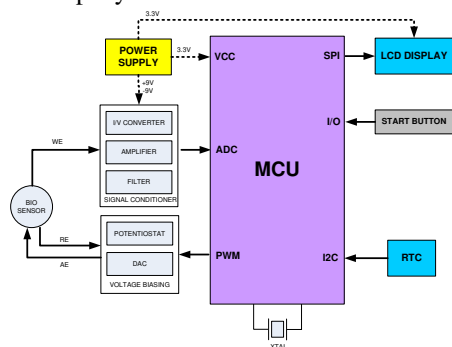


Gambar 1. Prinsip dari Biosensor.

II. METODE PENELITIAN

Tegangan ini didistribusikan ke seluruh rangkaian, meliputi signal conditioner, mikrokontroler maupun LCD. Untuk mencatu signal conditioner, selain tegangan +VCC juga membutuhkan tegangan -VCC. Untuk itu, tegangan positif di-invert menjadi tegangan negatif. Setelah dilakukan pengujian dengan memberikan catu daya ke seluruh sistem, ternyata terjadi drop tegangan pada signal conditioner pada tegangan negatif. Telah diukur menjadi sekitar -1.8 volt, yang seharusnya -2.7 volt. Padahal, minimal supply untuk opamp adalah +/- 2 volt. Untuk itu, dilakukan re-design dari sumber daya system. Rencananya menggunakan tegangan +/- 9 volt untuk signal conditioner, +3.3 volt untuk mikrokontroler dan LCD. Sumber tegangan yang dipakai berasal dari baterai 9 volt.

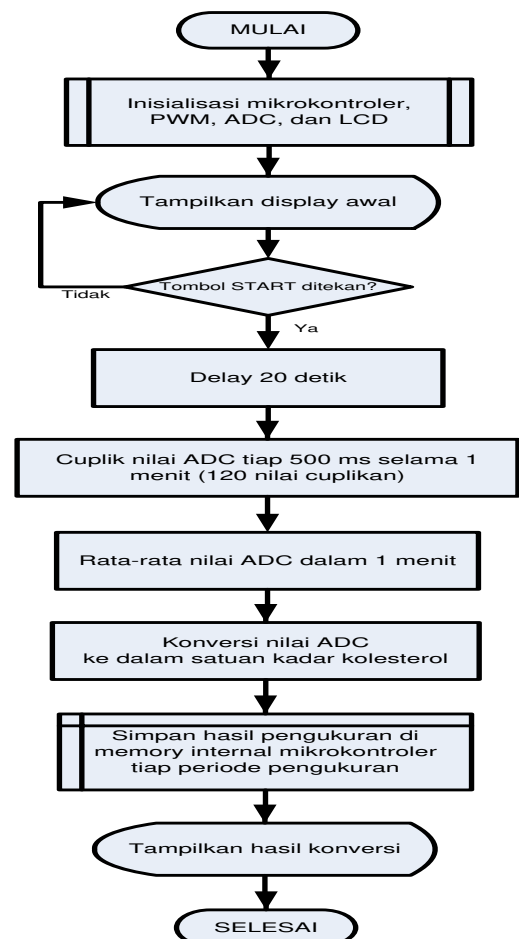
Selain penyempurnaan sistem catu daya, pada perancangan ulang juga ditambahkan sekalian fitur waktu (Real Time Clock / RTC) untuk menandakan waktu pengambilan sampel sehingga dapat dicatat waktu pengambilan data sensor. Gambar 2. menunjukkan perancangan ulang sistem untuk optimalisasi dan penyederhanaan sistem.



Gambar 2. Blok diagram sistem untuk biosensor

Sistem ini dirancang menggunakan dua tegangan catu daya DC yaitu tegangan *single supply* 3,3 volt dan tegangan *double supply* ± 9 volt. Tegangan *double supply* sebesar ± 9 volt untuk mencatu rangkaian pengkondisi isyarat. Sedangkan tegangan sebesar 3,3 volt digunakan untuk mencatu *microcontroller unit* (MCU) dan LCD. Tegangan sumber ini diperoleh dari satu buah baterai 9 volt. Dengan penggunaan tegangan yang berasal dari baterai maka alat yang dihasilkan mempunyai konsumsi daya yang kecil dan dapat bersifat portabel. Tegangan dari baterai dihubungkan dengan konektor JP1. ICL7660 akan mengubah tegangan *single supply* menjadi *double supply* ± 9 volt. Untuk memperoleh tegangan 3,3 volt, digunakan IC regulator LM2937-3.3. Sebagai indikator bahwa ada catu daya yang diberikan maka dipasang Light Emitting Diode (LED) warna merah. Untuk memberikan catu daya diberikan swith SW1. Real Time Clock (RTC) berfungsi untuk menunjukkan tanggal, waktu berupa detik, menit, dan jam secara akurat. Gambar 2 menunjukkan rangkaian Real Time Clock (RTC) dengan menggunakan DS1307. DS1307 merupakan Real-time clock (RTC) menggunakan jalur data parallel yang dapat menyimpan data-data detik, menit, jam, tanggal, bulan, hari dalam seminggu, dan tahun valid hingga 2100. 56-byte, battery-backed, RAM nonvolatile (NV) RAM untuk penyimpanan. Komunikasi dengan mikrokontroler menggunakan komunikasi I2C. Komunikasi ini menggunakan dua jalur, yaitu SDA (data) dan SCL (clock). Gambar 3. menunjukkan diagram alir (Flowchart) program pembacaan data biosensor, pemrosesan, dan penampilan di LCD. Dari diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3. di atas, dapat dijelaskan sebagai berikut:

Inisialisasi program, yang mencakup: Inisialisasi port pada mikrokontroler, Inisialisasi port pada mikrokontroler digunakan untuk menentukan apakah port pada mikrokontroler tersebut digunakan sebagai input atau output.

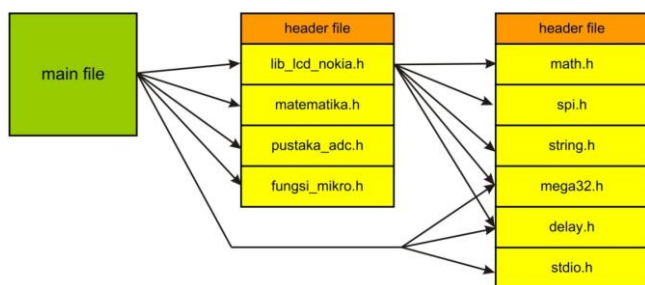


Gambar 3. Diagram alir program untuk sistem biosensor

Jika digunakan sebagai input, maka DDR pada mikrokontroler harus diberi nilai 0 (clear). Jika digunakan sebagai output maka DDR pada mikrokontroler harus diberi nilai 1 (set). Inisialisasi LCD berfungsi untuk mengatur register-register pada mikrokontroler agar komunikasi data ke LCD dapat berjalan. Komunikasi ke LCD menggunakan protocol Serial Peripheral Interface (SPI). Untuk itu, register-register yang berhubungan dengan komunikasi SPI diatur, mulai dari register control, dan register data dimana terdapat pengaturan mode komunikasi maupun clock rate-nya. Inisialisasi PWM, Inisialisasi PWM ini digunakan untuk pengaturan timer yang digunakan untuk mengubah lebar pulsa Pulse Wide Modulation (PWM). Perubahan pulsa ini digunakan untuk mengubah tegangan bias pada potentiostat. Inisialisasi ADC, Inisialisasi ADC ini berfungsi untuk mengatur register pada Analog Digital Converter (ADC) dimana terdapat pengaturan tegangan referensi ADC, mode ADC, dan banyak bit yang digunakan untuk konversi nilai tegangan analog dari masukan signal conditioner. Setelah proses inisialisasi selesai, maka program akan beralih ke instruksi untuk menampilkan display awal. Jika tombol START ditekan maka akan membaca data dari sensor. Sesuai dengan karakteristik sensor, nilai sensor akan stabil setelah kira-kira 20 detik (tergantung dari karakteristik sensornya). Mikrokontroler akan menunda pembacaan selama 20 detik.

Setelah 20 detik pertama maka akan dicuplik nilai ADC tiap 500 ms selama 1 menit. Jadi, akan mengambil data sebanyak 120 buah. Dari 120 data tersebut maka akan diambil nilai rata-ratanya. Dari nilai rata-rata ini yang akan dikonversi menjadi nilai kadar kolesterol yang akan ditampilkan di LCD. Data konversi ini yang akan disimpan dalam memori internal mikrokontroler. Setelah data ditampilkan maka program akan berhenti. Jika ingin melakukan pembacaan lagi maka tombol START harus ditekan lagi. Dari flowchart program yang sudah dirancang tersebut, maka dibuat program untuk mikrokontroler yang akan ditanam ke dalam mikrokontroler. Program dibuat dalam bahasa C dengan menggunakan compiler yang akan mengubah dari bahasa C ke dalam bentuk hexadesimal (.hex). File hexa inilah yang akan didownloadkan ke mikrokontroler. Gambar 4. menunjukkan struktur program yang dibuat. Program terdiri dari main file, yaitu program utama yang akan dicompile. Dari main file ini akan me-refer header-header file. Header file ini berisi definisi-definisi, fungsi-fungsi maupun variabel yang telah dibuat. File ini dibuat terpisah agar lebih terstruktur dan main file tidak terlalu panjang program yang dibuat. Selain itu, agar lebih mudah melacak program apabila terjadi kesalahan. Header file ini antara lain: lib_lcd_nokia.h: berisi fungsi-fungsi untuk meng-drive LCD

matematika.h : berisi fungsi untuk konversi nilai ADC
 pustaka_adc.h : berisi fungsi inisialisasi ADC dan pembacaan nilai ADC
 fungsi_mikro.h : berisi fungsi inisialisasi pada mikrokontroler
 delay.h : berisi fungsi tunda waktu
 stdio.h, math.h, spi.h, string.h, mega32.h : merupakan fungsi-fungsi standar yang sudah disediakan oleh compiler



Gambar 4. Struktur program

Berikut akan ditampilkan sedikit potongan program untuk fungsi-fungsi yang penting:

Inisialisasi mikrokontroler

void spi_init()

```
{
    /* Set MOSI and SCK output, all others input */
    //DDR_SPI = (1<<MOSI)|(1<<SCK);
    // SPI initialization
    // SPI Type: Master
    // SPI Clock Rate: 2000.000 kHz
    // SPI Clock Phase: Cycle Half
    // SPI Clock Polarity: High
    // SPI Data Order: MSB First
```

```
/* Enable SPI, Master, set clock rate fck/4 */
SPCR = (1<<SPE)|(1<<MSTR)|(1<<CPOL);
//SPCR=0x58;
SPSR = 0x00;
```

```
}
Inisialisasi ADC
```

void adc_init(void)

```
{
    // ADC initialization
    // ADC Clock frequency: 1000.000 kHz
    // ADC Voltage Reference: Int., cap. on AREF
    ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
    ADCSRA=0x83;
```

```
}
Inisialisasi LCD
```

void LCD_init (void)

```
{
    delay_ms(100);
    CLEAR_SCE_PIN; //enable LCD
    CLEAR_RST_PIN; //reset LCD
    delay_ms(100);
    SET_RST_PIN;
    SET_SCE_PIN; //disable LCD
    LCD_writeCommand( 0x21 ); // LCD Extended
Commands.
    LCD_writeCommand( 0xE0 ); // Set LCD Vop
(Contrast).
    LCD_writeCommand( 0x04 ); // Set Temp coefficient.
    LCD_writeCommand( 0x13 ); // LCD bias mode 1:48.
    LCD_writeCommand( 0x20 ); // LCD Standard
Commands, Horizontal addressing mode.
    LCD_writeCommand( 0x0C ); // LCD in normal mode.
    LCD_clear();
```

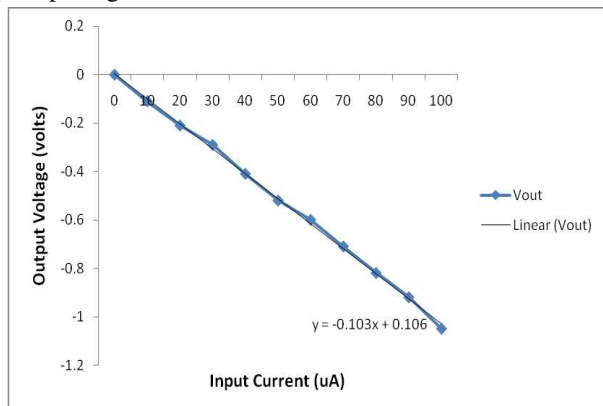
```
}
Perintah menampilkan display awal
void welcome_screen()
```

```
{
    LCD_gotoXY(8,1);
    LCD_putsf("*****");
    LCD_gotoXY(8,2);
    LCD_putsf("KOLESTEROL");
    LCD_gotoXY(8,4);
    LCD_putsf("*****");
    LCD_gotoXY(8,3);
    LCD_putsf("INSENTIF KRT");
    LCD_gotoXY(32,5);
    LCD_putsf("2011");
    delay_ms(500);
    LCD_gambarPinggir();
}
```

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

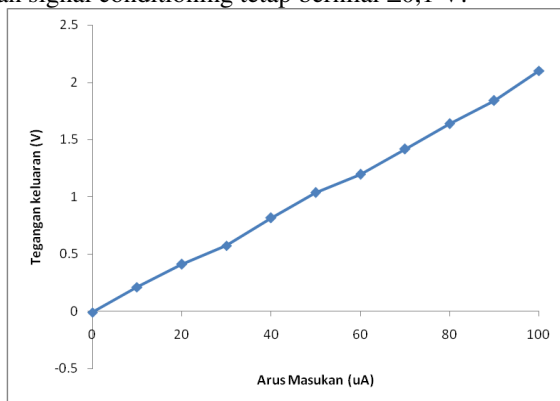
Pengukuran kinerja rangkaian akuisisi data dilakukan secara bertahap diawali dari bagian signal conditioning yang terdiri atas peubah arus ke tegangan dan penguat tegangan

hingga konversi tegangan ke dalam format digital pada bagian ADC. Pada tahap pertama dari bagian signal conditioning, rangkaian peubah arus ke tegangan diberi masukan sinyal berupa arus sebesar 0 – 100 μA secara bertahap kemudian diamati besaran luaran tegangannya. Untuk kenaikan arus sebesar 10 μA maka respon tegangan yang dihasilkan mendekati linier dengan error maksimum hingga $\pm 0,1$ V. Hal ini bisa kita lihat seperti pada grafik tegangan terhadap arus seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Luaran Tegangan Terhadap Arus Masukan dari Rangkaian Peubah Arus Ke Tegangan

Selanjutnya pada tahap kedua dari bagian signal conditioning, tegangan hasil konversi dikuatkan dua kali untuk menghasilkan nilai tegangan yang bervariasi antara 0 – 2 V. Untuk setiap masukan arus pada peubah arus dan tegangan maka luaran tegangan setelah dikuatkan. Jika diamati seperti pada gambar 6, maka dapat dilihat bahwa linieritas rangkaian penguat cukup baik sehingga total error yang dihasilkan bagian signal conditioning tetap bernilai $\pm 0,1$ V.



Gambar 6. Grafik Luaran Tegangan Terhadap Arus Masukan Dari Bagian Signal Conditioning

Luaran sinyal tegangan dari bagian signal conditioning selanjutnya menjadi masukan bagi bagian peubah sinyal analog ke sinyal digital (ADC). Untuk setiap nilai tegangan antara 0 – 2 V akan diubah kedalam format digital 10 bit. Hasil pengamatan memperlihatkan untuk setiap arus masukan signal conditioning yang telah diubah dalam bentuk tegangan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Perancangan rangkaian akuisisi data sensor dengan menggunakan mikrokontroler telah dilakukan. Untuk program pengolahan data karakteristik sensor yang dihasilkan.
2. Uji kinerja prototip divais sensor menghasilkan pengukuran optimum pada konsentrasi enzim gabungan sebesar 20% dengan volume 4 μL dan konsentrasi kolesterol oleat 3 $\mu\text{L/mL}$ dengan volume 3 μL .
3. Pengukuran kinerja rangkaian akuisisi data dilakukan secara bertahap diawali dari bagian signal conditioning yang terdiri atas peubah arus ke tegangan dan penguat tegangan hingga konversi tegangan ke dalam format digital pada bagian ADC.
4. Luaran sinyal tegangan dari bagian signal conditioning selanjutnya menjadi masukan bagi bagian peubah sinyal analog ke sinyal digital (ADC). Untuk setiap nilai tegangan antara 0 – 2 V akan diubah kedalam format digital 10 bit

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kepada rekan tim peneliti Pak Hiskia, dan Robeth yang telah banyak membantu dalam melakukan penelitian ini, dan Kepada DP2M Dikti-Hibah Bersaing-2012 sehingga selesai tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R Shantilatha, Shailly Varma and Chanchal K. Mitra, (2003), "Advances In Biosensors Perspectives In Biosensors : Designing a Simple Biosensors", Vol. 5, pp. 2-34
- [2] Maria Soledad Belluzo et al. (2008), "Assembling Amperometric Biosensors for Clinical Diagnostics", Sensors, 8, 1366-1399
- [3] S. Zhang et al.(2000), "Materials and techniques for electrochemical biosensor design and construction", Biosensors & Bioelectronics 15, 273-282
- [4] John C. Pickup (2007), "Biosensors for Monitoring Metabolites in Clinical Medicine", Handbook of Biosensors and Biochips, John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 978-0-470-01905-4.
- [5] Avraham Rasooly and Keith E. Herold (2009), "Biosensors and Biodection : Methods and Protocols", Humana Press
- [6] Frank Davis et al. (2007), "Overview of Modern Analytical Needs", Handbook of Biosensors and Biochips, John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 978-0-470-01905-4.
- [7] Chang Ming Li et al. (2008) "Electrochemical Sensors, Biosensors and Their Biomedical Applications: Biochips – fundamentals and applications", First edition 2008, Elsevier Inc.
- [8] G. Blankenstein and U. D. Larsen, "Modular concept of a laboratory on a chip for chemical and biochemical analysis," Biosensors & Bioelectronics, vol. 13, pp. 427-438, 1998.
- [9] A. V. d. Berg and Bergfeld, "Development of TAS concepts at the MESA research institute," presented at Analytical Methods and Instrumentation, TAS'96 conference, Basel, 1996.
- [10] E. Depsey, D. Diamond, M. R. Smyth, G. Urban, G. Jobst, Isabella Moser, E. M. J. Verpoorte, A. Manz, H. M. Widmer, k. Rabenstein, and R. Freaney, "Design and development of a miniaturised total chemical analysis system for on-line lactate and glucose monitoring in biological samples," Analytica Chimica Acta, vol. 346, pp. 341-349, 1997.

- [11] O. Domínguez Renedo et al., (2007), "Recent developments in the field of screen-printed electrodes and their related applications", *Talanta*, 73, pp. 202–219
- [12] Takahiro Nakaminami et al. (1999), "Amperometric Determination of Total Cholesterol at Gold Electrodes Covalently Modified with Cholesterol Oxidase and Cholesterol Esterase with Use of Thionin as an Electron Mediator", *Anal. Chem.*, 1999, 71 (5), pp 1068–1076
- [13] Solanki, P.R., Arya, S.K., Nishimura, Y., Iwamoto, M., Malhotra, B.D., (2008), Application of self-Assembled Monolayer of 10-Carbonil-1-Decanthiol for Cholesterol Biosensor, *J. Biomed. & Pharm. Engineering*, 2(1) : 7-3
- [14] Yildirimoglu, F., Arslan, F., Cete, S., Yasar, A., (2009), Preparation of a polypyrrole-polyvinylsulphonate composite film biosensor for determination of cholesterol based on entrapment of cholesterol oxidase, *Sensor*, 9 : 6435-6445
- [15] Cabrita, J.F., Abrantes, L.M., Vianna, A.S., (2005), N-hydroxysuccinimide-terminated SAMs on gold for biomolecules immobilization, *Electrochimica Acta*, 50 : 2117-2124
- [16] Arya, S.K., Prusty, A.K., Singh, S.P., Solanki, P.R., Pandey, M.K., Datta, M., Malhotra, B.D., (2007), Cholesterol biosensor based on N-(2-amino ethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane self-assembled monolayer, *Anal. Biochem.*, 363 : 210-218
- [17] Kumar, H., Kumar, A., Kumari, P., Jyotirmai, S., Tulsani, N.B., (1999), Immobilization of cholesterol oxidase on formvar using organic solvents, *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30 : 231-233
- [18] Manoj Ku. Ram et al. (2001), "Cholesterol biosensors prepared by layer-by-layer technique", *Biosensors & Bioelectronics*, 16, pp. 849–856
- [19] Shyam Aravamudhan et al (2007), "Sensitive estimation of total cholesterol in blood using Au nanowires based micro-fluidic platform", *Biosensors and Bioelectronics*, doi:10.1016/j.bios.2006.11.027
- [20] Suman Singh et al. (2004), "Amperometric cholesterol biosensor based on immobilized cholesterol esterase and cholesterol oxidase on conducting polypyrrole films", *Analytica Chimica Acta*, 502, pp. 229–234
- [21] Suman Singh et al. (2007), "Immobilization of cholesterol esterase and cholesterol oxidase onto sol-gel films for application to cholesterol biosensor", *Analytica Chimica Acta* 582 , pp. 335–343
- [22] Hareesh Vemulachedu et al., (2008), "Miniaturization of EISCAP sensor for triglyceride detection", *J Mater Sci: Mater Med*, DOI 10.1007/s10856-008-3534-y